

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroniky

Vlivy průběhů nabíjecích proudů na vlastnosti akumulátorů

Effects of Charging Current Waveforms on the Characteristics of
Batteries

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Pavel Mončko

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

Vlivy průběhů nabíjecích proudů na vlastnosti akumulátorů
Effects of Charging Current Waveforms on the Characteristics of
Batteries

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši způsobů nabíjení olovených akumulátorů s přihlédnutím k možnostem využití nabíjecích proudů různých průběhů.
2. Proveďte měření využitelné kapacity akumulátoru pro jednotlivé časové průběhy nabíjecích proudů stanovených dle pokynů vedoucího bakalářské práce.
3. Proveďte vyhodnocení uvedených měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

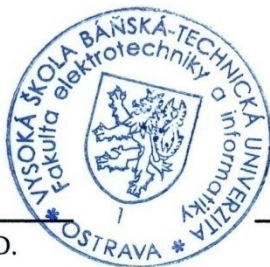
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Petrovi Palackému, Ph.D. za jeho rady a připomínky k praktické části práce. Dále mu děkuji za zapůjčení školních měřících přístrojů, které mi při realizaci této práce velmi pomohly.

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

ve Frýdku - Místku, dne 4. 5. 2012



.....

Abstrakt

Informací o způsobech nabíjení olověných akumulátorů existuje velmi mnoho. Často tak dochází ke špatnému pochopení této problematiky vedoucímu až ke zničení akumulátoru nesprávným zacházením. Smysl této práce spočívá v oživení a shrnutí základních poznatků o různých typech olověných akumulátorů. Jsou zde popsány různé možnosti jejich nabíjení. Praktická část porovnává vliv pulzního a stejnosměrného nabíjecího proudu na využitelnou kapacitu olověné baterie technologie AGM.

Klíčová slova

olověný akumulátor, kapacita akumulátoru, nabíjecí průběhy, pulzní nabíjení, ztráta kapacity.

Abstract

There exists a lot of information about ways how to charge lead-acid batteries. It often happens that we understand this problem in a bad way and inappropriate treating may cause destroying of the battery. The sense of this thesis is to revive and summarize basic knowledge about various types of lead-acid batteries. There are described various possibilities how to charge them. The practical part compares influence of pulsed and invariant-current charging for usable capacity of lead-acid battery of AGM technology.

Keywords

lead-acid battery, battery capacity, waveforms of charging, pulsed-current charging, capacity loss.

Obsah

Obsah	6
Úvod	8
1. Základní informace o olověných akumulátorech	9
1.1 Olověný článek	9
1.1.1 Princip činnosti článku	10
1.1.2 Konstrukce olověného článku	11
1.2 základní rozdělení olověných akumulátorů	11
1.2.1 rozdělení podle účelu použití	11
1.2.2 rozdělení podle způsobu údržby	12
1.2.3 rozdělení podle elektrolytu	13
1.2.4 rozdělení podle způsobu uzavření akumulátorových článků	15
1.3 Nežádoucí provozní jevy akumulátorů	15
1.3.1 Samovybíjení	15
1.3.2 Sulfatace elektrod	16
1.3.3 Zkratky mezi elektrodami	16
2. Nabíjení olověných akumulátorových baterií	17
2.1 Základní nabíjecí charakteristiky	17
2.1.1 Nabíjení konstantním proudem – I	17
2.1.2 Nabíjení konstantním napětím bez omezení proudu - U	18
2.1.3 Nabíjení konstantním napětím s omezením proudu - IU	18
2.1.4 Nabíjení s klesajícím proudem při nárůstu napětí – W	20
2.2 Další způsoby nabíjení	21
2.2.2 Nabíjení obdélníkovými pulsy	21
2.2.3 Pulzní nabíjení s využitím vybíjecího pulsu opačné polarity	22
2.2.4 Desulfatace	22
3. Experimentální část	24
3.1 Návrh nabíjecího obvodu	24

3.1.1 Požadovaný nabíjecí průběh	24
3.1.2 Realizace nabíjecího obvodu.....	24
3.2 Nabíjení a měření využitelné kapacity.....	26
3.2.1 Metody nabíjení.	26
3.2.2 Způsob měření kapacity.	27
3.2.3 Výsledky	28
4. Závěr	30
Seznam použité literatury	31
Seznam příloh	33

Úvod

Ačkoliv historie olověného akumulátoru sahá až do roku 1859, dodnes mají tyto zdroje energie velmi široké uplatnění ve všech oblastech techniky. Důvodem jejich častého používání je nízká výrobní cena a dobré elektrotechnické vlastnosti. Vzhledem k schopnosti dodat poměrně vysoký výkon se zpočátku prosadily hlavně v automobilovém průmyslu, a to jako zdroj energie pro rozběh spalovacích motorů. Rostoucí technické a bezpečnostní požadavky, zároveň s rozmachem nových technologií, vedly k zdokonalení těchto akumulátorů a umožnily použití v dalších aplikacích. Nejčastěji jsou to například záložní zdroje nouzových osvětlení, bezpečnostních a protipožárních systémů, v lékařství nebo také hlavní zdroje energie mobilních zařízení, např. invalidních vozíků. Pro tyto účely dnes slouží nejčastěji bezúdržbové olověné akumulátory.

Při cyklickém používání, tedy je-li akumulátor opakovaně nabíjen a vybíjen, je z praktického hlediska důležité, aby nedocházelo k negativním změnám jeho parametrů, zvláště pak k poklesu kapacity. Na správnost nabíjení jsou citlivé ventilem regulované (VRLA) akumulátory, u kterých již při mírném přebíjení dochází vlivem úniku plynů k vysychání separátorů, což má za následek úbytek kapacity a jejich zničení.

Cílem práce je formou rešerše oživit toto téma a objasnit přednosti určitých způsobu nabíjení olověných akumulátorů různých typů. Jako hlavní nástroj pro vyhledávání informací jsem využil internet. Praktická část práce pak zkoumá vliv různých průběhů nabíjecích proudů na kapacitu bezúdržbového AGM akumulátoru.

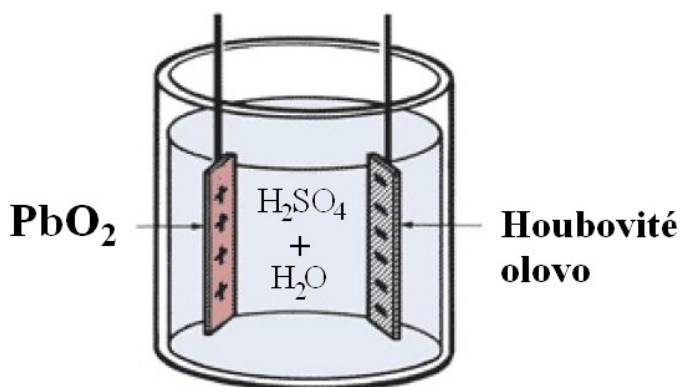
1. Základní informace o olověných akumulátorech

Olověný akumulátor slouží jako sekundární zdroj elektrické energie. Jmenovité napětí jednoho olověného článku je 2 volty. Akumulátor o větším jmenovitém napětí (akumulátorová baterie) vznikne sériovým spojením nejméně dvou článků. Napětí je tedy dáno počtem článků vynásobených dvěma volty. V praxi mají největší uplatnění akumulátory o třech, šesti, nebo dvanácti článcích, resp. o jmenovitých hodnotách napětí 6, 12 a 24V. [1] [2]

Dalším důležitým parametrem akumulátorů je kapacita. Většina výrobců udává jmenovitou dvacetihodinovou kapacitu (C_{20}), která odpovídá rovnoměrnému vybíjení po dobu 20 hodin při teplotě 25 °C proudem $0,05 \cdot C_{20}$ (A) do snížení napětí na 1,75V na článek. Pokud poklesne kapacita na 80% jmenovité kapacity, hovoříme o konci životnosti akumulátoru. S klesající teplotou a se zvětšujícím se vybíjecím proudem využitelná kapacita klesá, což musíme zohlednit vzhledem k provozním podmínkám akumulátoru. [1] [2] [3]

1.1 Olověný článek

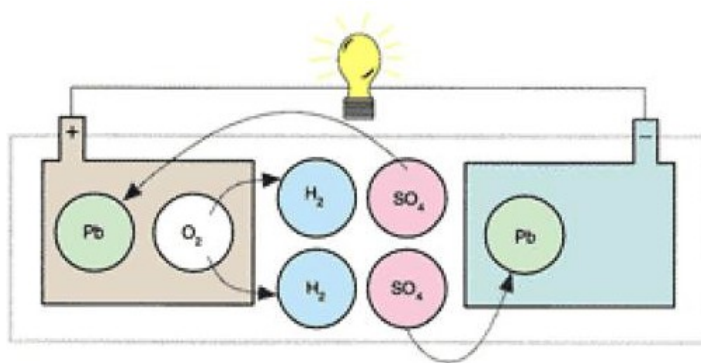
Jednoduchý olověný článek je složen ze dvou elektrod ponořených do vodného roztoku kyseliny sírové (H_2SO_4). V nabitém stavu je aktivní hmotou kladné elektrody tmavě hnědý oxid olovičitý (PbO_2). Aktivní hmota záporné elektrody je jemně rozptýlené olovo. Koncentrace kyseliny sírové nabitého článku závisí na typu akumulátoru. Pohybuje se mezi 28 až 40 %. [2]



Obr. 1.1: Principiální schéma olověného článku. [4]

1.1.1 Princip činnosti článku

Ponořením dvou odlišných kovů do kyselého elektrolytu vzniká mezi elektrodami elektrické napětí. Připojením elektrické zátěže mezi elektrody začne článek dodávat elektrický proud. Tok proudu umožňuje elektrochemická reakce mezi elektrolytem a kovovými deskami. [4]

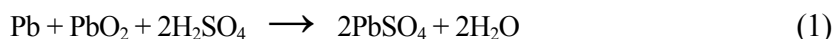


Obr. 1.2: Elektrochemická reakce v olověném článku při vybíjení. [4]

Stručný popis elektrochemické reakce při vybíjení:

Elektrický proud při vybíjení teče od záporné elektrody k elektrodě kladné. Kyselina sírová (H_2SO_4) se spotřebovává, roste množství vody a na elektrodách se tvoří špatně rozpustný síran olovnatý (PbSO_4), jehož měrná vodivost je menší než 10^{-8} S/cm . Vnitřní odpor článku roste a napětí klesá. Tato reakce trvá až do úplného rozložení H_2SO_4 a vyčerpání aktivní hmoty elektrod. [1] [2]

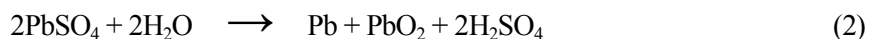
Proces vybíjení popisuje následující chemická rovnice:



Stručný popis elektrochemické reakce při nabíjení:

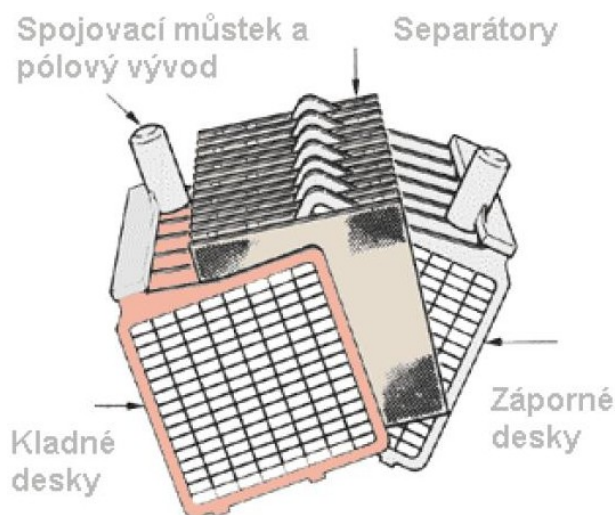
Pro nabití vybitého článku je potřeba připojit zdroj elektrické energie mezi elektrody. Na anodu plusový pól a na katodu záporný pól zdroje. Elektrochemická reakce probíhá obdobně, ale její směr je opačný. Na kladné elektrodě síran olovnatý (PbSO_4) oxiduje na oxid olovičitý (PbO_2), zatímco na záporné redukuje na olovo (Pb). Voda se spotřebovává a v elektrolytu roste koncentrace kyseliny sírové (H_2SO_4). [1]

Proces nabíjení popisuje následující chemická rovnice:



1.1.2 Konstrukce olověného článku

Článek akumulátorové baterie je tvořen skupinou paralelně spojených kladných a záporných elektrod oddělených separátory. Separátory propouští elektrolyt a zajišťují izolaci mezi elektrodami. Dle typu akumulátoru může být separátor vyroben z impregnovaného papíru, skleněných mikrovláken (u AGM) nebo plastických hmot. [4]



Obr. 1.3: Konstrukční uspořádání desek olověného článku. [4]

1.2 základní rozdělení olověných akumulátorů

1.2.1 rozdělení podle účelu použití

Staniční akumulátory

Slouží jako záložní zdroje elektrické energie v případě výpadků hlavní elektrické sítě. K jejich vybíjení dochází jen výjimečně, proto nejsou konstruovány pro velký počet vybíjecích cyklů. Hlavní požadavek těchto akumulátorů je dlouhá životnost v pohotovostním režimu. V tomto režimu jsou trvale připojeny ke konstantnímu napětí 2,23 až 2,3V na článek. [4] [5]

Startovací akumulátory

Díky automobilovému průmyslu mají největší podíl na trhu. Musí být schopny krátkodobě dodat vysoký výkon v širokém rozsahu provozních teplot. Za normálního provozu jsou nabíjecí soustavou vozidla udržovány v nabitém stavu. K jejich hlubokému vybití dochází málokdy. Konstrukce startovacích akumulátorů je křehčího provedení s větším počtem tenkých desek. [4]

Trakční akumulátory

Trakční akumulátory slouží jako hlavní zdroj energie pro pohon elektrických dopravních prostředků, kde zajišťují dlouhodobou dodávku určeného množství energie. Jsou konstruovány s ohledem na maximální životnost v cyklickém režimu s hlubokým vybíjením. Desky elektrod jsou robustnější konstrukce, než u jiných typů. [4]

HD akumulátory

Jsou určeny pro náročné provozní podmínky zahrnující vysoký odběr proudu, cyklické namáhání nebo zvýšené vibrace. Přednostmi jsou dlouhá životnost a minimální nároky na údržbu. Akumulátory tohoto typu jsou vhodné především pro autobusy, nákladní auta a stavební stroje. [4] [6]

1.2.2 rozdělení podle způsobu údržby

Akumulátory vyžadující údržbu

Řadí se mezi nejstarší, avšak dodnes používané typy akumulátorů s tekutým elektrolytem. Údržba spočívá v pravidelné kontrole jeho množství a případném dolévání destilované vody na předepsanou hodnotu. Příčinou úbytku elektrolytu je jednak přirozený odpar, zvláště při vysokých okolních teplotách, dále pak rozklad vody při přebíjení. V současné době existují technologicky vylepšené, tzv. nízkoúdržbové akumulátory, kde je ztráta elektrolytu minimální. [1] [4]



Obr. 1.4: Vzhled běžné autobaterie s tekutým elektrolytem značky XT BATTERY. [7]

Akumulátor vyžadující údržbu lze snadno rozeznat podle šroubovací zátky u každého článku. Možnost odstranění zátek nám navíc, kromě kontroly hladiny elektrolytu, umožní za

pomocí hustoměru ověřit stav nabití článku. To je jedna z výhod těchto akumulátorů. [1] [4] [8]

Akumulátory bezúdržbové

Jako bezúdržbové se označují akumulátory nevyžadující, většinou ani neumožňující kontrolu hladiny elektrolytu. Do této kategorie patří akumulátory gelové, s vázaným elektrolytem (AGM), ale i akumulátory se zaplavenými elektrodami bez šroubovacích zátek. I tyto akumulátory však potřebují základní údržbu jako je kontrola stavu svorek nebo pravidelné dobíjení při jejich odstávce. [1]

1.2.3 rozdělení podle elektrolytu

Akumulátory s tekutým elektrolytem

Elektrolytem je vodou zředěná kyselina sírová. Mřížky elektrod bývají různého provedení. Starší výrobní postup zajišťující dostatečnou tuhost olověných mřížek využívá k jejich dotování vysoký obsah antimonu (Sb). Okolo 5-7%. Nevýhodou této technologie je značné samovybíjení a poměrně vysoký odpar elektrolytu při provozu. Novější postup výroby s označením kalcium-kalcium (Ca-Ca) používá při dotování jak kladných, tak záporných mřížek vápník (Ca) v dávce přibližně 0,08-0,12% a výrazně menší množství Sb (1,5–3%). Oproti technologii Pb/Sb se tak docílilo zmenšení odparu vody asi na pětinu a o třetinu kleslo samovybíjení. Nevýhodou akumulátorů s tekutým elektrolytem může být např. nebezpečí úniku elektrolytu při náhodném převržení baterie. [1] [4]

Akumulátory s vázaným elektrolytem ve formě gelu

Konstrukčně se podobají akumulátorům s tekutým elektrolytem, avšak u tohoto typu je elektrolyt vázán ve formě křemičitého tixotropního gelu (SiO_2 aditivován dalšími látkami). Výhodou je, že nehrozí vylití elektrolytu při náklonu nebo převržení akumulátoru. Díky gelovému elektrolytu nedochází ke stratifikaci, neboli k vrstvení elektrolytu různých hustot. Jiné přednosti jsou bezúdržbovost, zvýšená kapacita při snížené hmotnosti, nízké samovybíjení, odolnost proti hlubokému vybíjení a schopnost provozu za zvýšených teplot. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. [1] [4]

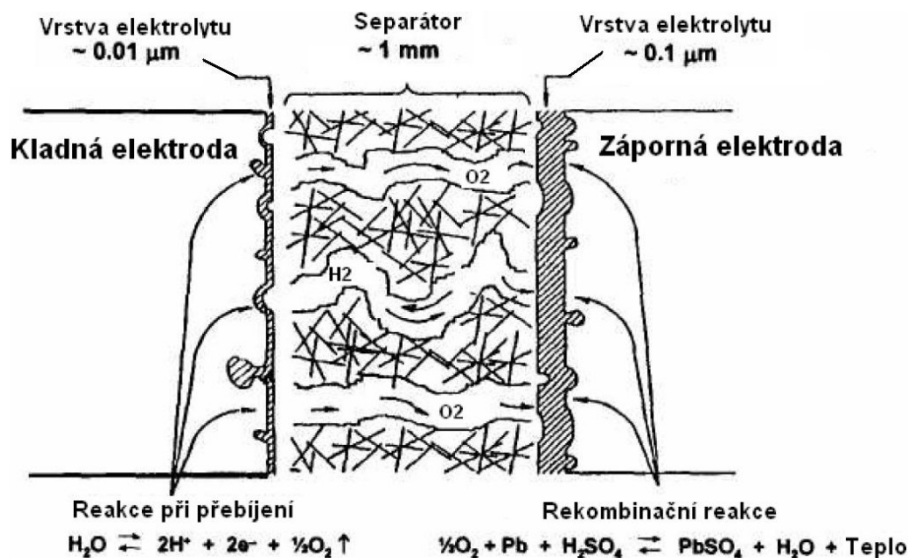
Akumulátor s nasáklým elektrolytem do separátorů (AGM)

AGM akumulátory patří mezi ventilem řízené akumulátory (VRLA), které za normálních provozních podmínek neumožňují výměnu plynů mezi články a okolím. Technologie AGM (Absorbed Glass Mat) používá elektrolyt zasáknutý do separátorů ze sklolaminátových vláken těsně přiléhajících k deskám elektrod. [1] [9]

Elektrolyt v AGM článcích má vyšší hustotu než u ostatních typů, a to s obsahem H_2SO_4 až 41% odpovídající hustotě $1,32 \text{ g/cm}^3$. Přibližně 90% objemu separátorů je nasyceno elektrolytem. Ve zbývajících 10% se vytváří plynové kanálky, kterými se kyslík vznikající při přebíjení dostává k záporné elektrodě, kde dochází k jeho redukci na vodu. Při nabíjení AGM akumulátorů je třeba uvažovat další dvě chemické reakce:

- 1) Vyvíjení vodíku (H_2) na záporné elektrodě ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$)
- 2) Oxidace na kladné mřížce ($\text{Pb} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$)

Tento vnitřní cyklus zabraňuje úniku plynů z článků a tím zamezuje vysychání separátorů.



Obr. 1.5: Koncepční schéma vnitřního kyslíkového cyklu olověného článku typu AGM. [10]

Zásadou separátorů nedochází k stratifikaci, mezimřížkovým zkratům a drolení aktivní hmoty, což prodlužuje životnost akumulátoru. Mezi výhody AGM akumulátorů dále patří odolnost proti vibracím, velký výkon za nízkých teplot, snížená hmotnost při zvýšení kapacity, nízké samovybíjení, bezúdržbovost a možnost provozování v libovolné poloze. [1] [4] [9] [10]

1.2.4 rozdělení podle způsobu uzavření akumulátorových článků

Akumulátory s otevřenými články (VLA)

VLA (Vented Lead Acid) se označují veškeré akumulátory dovolující volný únik vznikajících plynů bez vzniku jakéhokoliv přetlaku uvnitř článků. Předností VLA akumulátorů je možnost provozu ve vyšších pracovních teplotách a odolnost proti přebíjení. Kapalný elektrolyt používaný ve VLA člancích přispívá k lepšímu chlazení baterie. Dodnes jsou tyto akumulátory hojně používány pro trakční účely, automobilový průmysl nebo záložní zdroje. [11]

Hermeticky uzavřené akumulátory (SLA, VRLA)

Články SLA (Sealed Lead acid) akumulátorů jsou za běžných provozních podmínek plynotěsné. Vznikající plyny při nabíjení jsou uvnitř článku rekombinovány zpět na vodu. Pokud např. vlivem přebíjení dojde k velkému vývinu plynů a v článku stoupne tlak na stanovenou hodnotu, bezpečnostní ventil umožní průchod plynu z článku do jeho okolí. Tuto technologii využívají především AGM a gelové akumulátory. Nejběžnějším důvodem selhání SLA akumulátorů je jejich vyschnutí při nesprávném nabíjení. [4] [11]

1.3 Nežádoucí provozní jevy akumulátorů

Nesprávnou údržbou dochází k jevům, které mohou vést ke zhoršení provozních vlastností, zkrácení životnosti nebo zničení akumulátoru. Nejčastější příčiny vedoucí k nefunkčnosti akumulátoru jsou samovybíjení, sulfatace a zkraty mezi elektrodami.

1.3.1 Samovybíjení

Termodynamická nestálost elektrod a jejich reakce s H_2SO_4 nebo reakce mezi aktivní hmotou PbO_2 a Pb mřížkou zapříčiňuje samovybíjení. Míra úbytku kapacity závisí na použité technologii článků a teplotě prostředí, v němž je akumulátor skladován. S rostoucí teplotou roste samovybíjení. Například u nového plně nabitého AGM akumulátoru (Alarmguard 4,5Ah) dojde k poklesu kapacity na 80% za šest měsíců při 25°C. Při teplotě 40°C dojde ke stejnému poklesu už za dva měsíce. Poměrně rychlým samovybíjením trpí starší akumulátory s kapalným elektrolytem, které byly používány v cyklickém režimu. Pokud se navíc jedná o akumulátory,

jejichž mřížky obsahují velké množství antimonu, ztrácí až 30% kapacity měsíčně. Hlubokým samovybíjením dochází k sulfataci elektrod. [1] [2] [12]

1.3.2 Sulfatace elektrod

Sulfatace elektrod je hlavní příčinou konce životnosti až 80 % všech olověných akumulátorů. Za normálních okolností se vlivem vybíjení na elektrodách tvoří miniaturní krystalky síranu olovnatého (PbSO_4). Když je ale akumulátor hluboce vybíjen nebo ponechán delší dobu ve vybitém stavu, dochází k postupnému růstu krystalků (sulfataci) a tím i zmenšení využitelné plochy mřížek elektrod. Při následným nabíjení se část hrubozrnného síranu nemůže přeměnit na aktivní hmotu, proto dochází k úbytku kapacity, a z důvodu malé vodivosti PbSO_4 i k nárůstu vnitřního odporu, akumulátoru. Vlivem většího objemu hrubozrnného síranu navíc dochází k mechanickému namáhání článků a odpadávání aktivní hmoty elektrod.

Typické znaky zasulfatovaných článků jsou: zmenšení výkonu akumulátoru, zvýšená teplota v průběhu nabíjení, malá hustota elektrolytu při zdánlivě nabitém stavu, zvýšené napětí s plynováním článků krátce po zapojení k nabíjení. [1] [2] [8] [13]

1.3.3 Zkratky mezi elektrodami

Velký nabíjecí proud, dlouhé startování, přebíjení, sulfatace a vibrace akumulátoru vede k deformaci a odpadávání činné hmoty desek. Mohou tak vzniknout vodivé můstky vytvářející zkrat mezi elektrodami. Zkrat mezi elektrodami lze rozeznat podle malého vnitřního odporu článku a nemožnosti jeho nabití. [1] [2] [8]

2. Nabíjení olověných akumulátorových baterií.

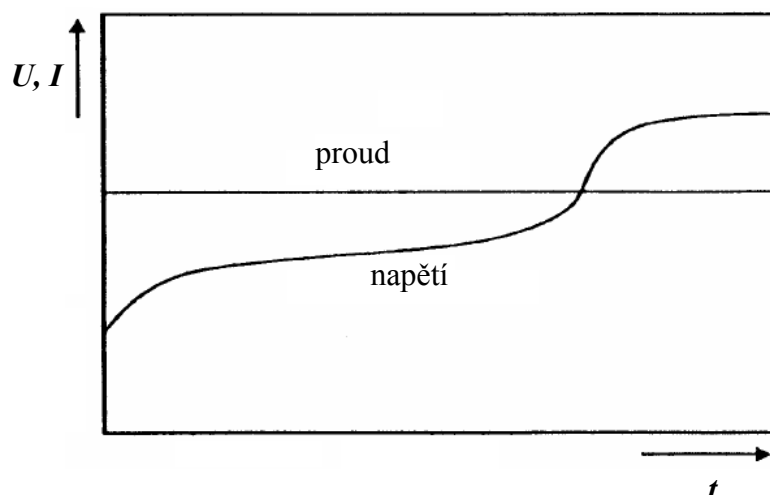
Protože akumulátory nemají 100% účinnost, musíme do nich vždy dodat větší množství energie (110 – 117%), než jsou pak schopny dodat. Při nabíjení se zvyšuje objem a hustota elektrolytu, napětí jednotlivých článků roste. Můžeme říct, že baterie je plně nabitá, když všechny články intenzivně plynoují a hustota elektrolytu v každém článku odpovídá předepsané mezi. Napětí článku je v tomto okamžiku 2,5 až 2,75 V. U 12V baterie napětí odpovídá 15 až 16,5V. Na tak vysokou hodnotu napětí se mohou nabíjet jen baterie s kapalným elektrolytem, který je možno doplnit. Bezúdržbovým bateriím by hrozilo zničení vlivem plynování a vyschnutí elektrolytu. Proto se u ventilů řízených (VRLA) gelových a AGM akumulátorů příliš nedoporučuje překračovat plynovací napětí, jehož spodní hranice odpovídá 14,4V. Většina výrobců hermeticky uzavřených AGM akumulátorů udává rozsah maximálního nabíjecího napětí pro cyklický provoz 14,5 až 14,9V. Tohoto napětí na svorkách akumulátoru může být dosaženo jen po krátký interval. Veškeré udávané hodnoty napětí v této práci platí pro teplotu okolí 25°C. Předepsané hodnoty nabíjecích napětí totiž rostou s klesající, resp. klesají s rostoucí, teplotou přibližně o 0,03V na 1°C. [1] [14] [15]

2.1 Základní nabíjecí charakteristiky

Nabíjet lze různými způsoby. Nabíjecí charakteristiku volíme s ohledem na účel použití a typ olověné baterie. V časové tísni volíme vyšší nabíjecí proudy než doporučené.

2.1.1 Nabíjení konstantním proudem – I

Hodnota proudu se nastavuje zpravidla na 1/10 jmenovité kapacity C_{20} . Napětí akumulátoru v průběhu nabíjení roste až do přerušení nabíjení. Nabíječ by měl být schopen detekovat stav plného nabití nebo obsahovat časový spínač a nabíjení včas ukončit. V praxi se nabíjení konstantním proudem u olověných akumulátorů příliš nepoužívá. Důvodem je nebezpečí přebíjení po dosažení plynovacího napětí a následný úbytek elektrolytu. Výhodou je snadné určení dodaného náboje a možnost nabíjet více baterií zapojených do série. Nabíjení konstantním proudem je vhodné pro hlubokocyklové akumulátory, u kterých potřebujeme v přiměřené době, například přes noc, obnovit jejich plnou kapacitu. Zcela nevhodné je pro hermeticky uzavřené akumulátory. [1] [8]



Obr. 2.1: Průběh napětí akumulátoru při nabíjení konstantním proudem.

Větší uplatnění má dvoustavové nabíjení konstantním proudem, kdy se hodnota proudu po dosažení určité veličiny (nabíjecí čas, napětí, teplota) sníží na jinou hodnotu. Výhodou dvoustavového nabíjení je menší plynování článků ke konci nabíjení. [1] [8]

2.1.2 Nabíjení konstantním napětím bez omezení proudu - U

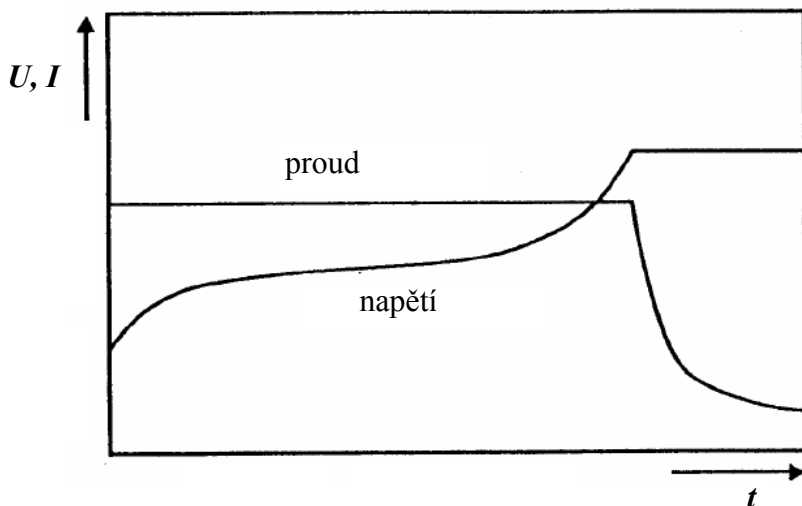
Nabíjení konstantním napětím bez omezení proudu se u olověných akumulátorů příliš nepoužívá. Důvodem je velký počáteční proud a tím i nadměrné zahřívání elektrolytu. Překážkou je i konstrukce dostatečně tvrdého zdroje napětí. [1]

2.1.3 Nabíjení konstantním napětím s omezením proudu - IU

Patří mezi často používaný průběh nabíjení vhodný pro všechny typy olověných akumulátorů. Využívá se zejména pro hermeticky uzavřené, bezúdržbové akumulátory. U startovacích a trakčních akumulátorů se proud omezuje na 0,6 až 1,2 násobek a u hermeticky uzavřených maximálně na 0,3 násobek jmenovité kapacity akumulátoru. Hodnotu maximálního počátečního proudu (Initial Current) akumulátoru obvykle udává výrobce. Pokud výrobce zmíněný údaj neuvedl, používá se univerzální bezpečné hodnoty, vhodné pro všechny olověné články, o velikosti 0,1 násobku C_{20} . Velikost konečného nabíjecího napětí se volí podle způsobu používání a typu akumulátoru. Akumulátor tak může být provozován v cyklickém anebo trvalém (tzv. "stand-by") režimu. [1] [14] [16]

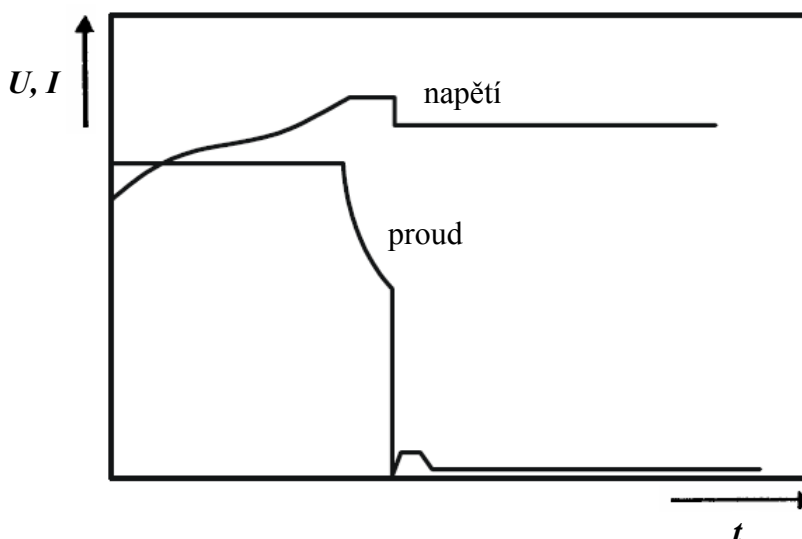
Cyklický provoz

V cyklickém režimu, kdy je zapotřebí v krátké době obnovit plnou kapacitu akumulátoru, je třeba nastavit nabíjecí napětí na hodnotu plynovacího, tj. 2,40 až 2,48V na článek při 25°C. Pro 12V baterii to znamená 14,4 až 14,9V. Po dosažení uvedeného napětí nabíjecí proud klesá (obr. 2.2). Při poklesu proudu na velmi malou hodnotu ($0,002 \cdot C_{20}$) je akumulátor plně nabit a nabíjení je třeba přerušit. [1] [14]



Obr. 2.2: Nabíjecí průběh při nabíjení konstantním napětím s omezením proudu.

V případě nabíjení hermeticky uzavřených akumulátorů je nutno, aby po dosažení plynovacího napětí došlo k včasnému odpojení od nabíječe. Ještě lepší variantou je přepnutí na napětí menší než plynovací, nejlépe na napětí udržovací o hodnotě 13,8V. Hovoříme tak o dvoustavovém nabíjení konstantním napětím (obr. 2.3). [1] [2] [14] [16]



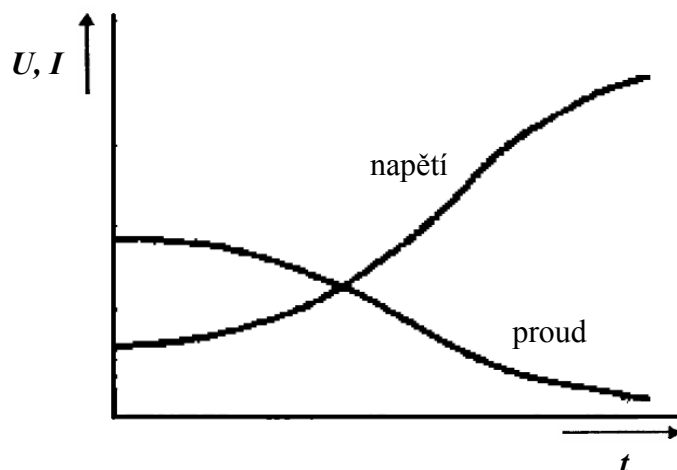
Obr. 2.3: Nabíjecí průběh při dvoustavovém nabíjení konstantním napětím.

Nabíjení trvalé

Ve staničních systémech, kde akumulátor slouží jako záložní napájecí zdroj, nebo při delším uskladnění je baterie o 6 článcích připojena k trvalému napětí 13,6 až 13,8V. V případě, že k tomuto zdroji připojíme baterii vybitou, okamžitý nabíjecí proud je omezen, aby nedošlo k jejímu poškození. Proud tekoucí baterií je v plně nabitém stavu minimální. K plynování článků nedochází. Trvalé dobíjení má svůj význam i u armády, kde je používáno k nabíjení autobaterií vozidel, jež nejsou momentálně v provozu. Je tak zajištěna jejich stálá provozuschopnost. [8] [14] [16]

2.1.4 Nabíjení s klesajícím proudem při nárůstu napětí – W

V praxi jde o nejpoužívanější způsob nabíjení startovacích a trakčních olověných akumulátorů. Charakteristika je dána jednoduchou konstrukcí nabíječe obsahující diodový usměrňovač. Takto usměrněné napětí zajišťuje klesající proud při rostoucím napětí akumulátoru (obr. 2.4). Konečný nabíjecí proud dosahuje minimálních hodnot. Předností onoho způsobu nabíjení je rychlé nabití akumulátoru při malém riziku přebití. Nevýhoda je závislost maximálního nabíjecího napětí na kolísání síťového napětí a nemožnost omezení proudu. Proto se tato metoda nabíjení se nedoporučuje pro ventilem řízené, hermeticky uzavřené akumulátory. [1] [8] [14] [17]



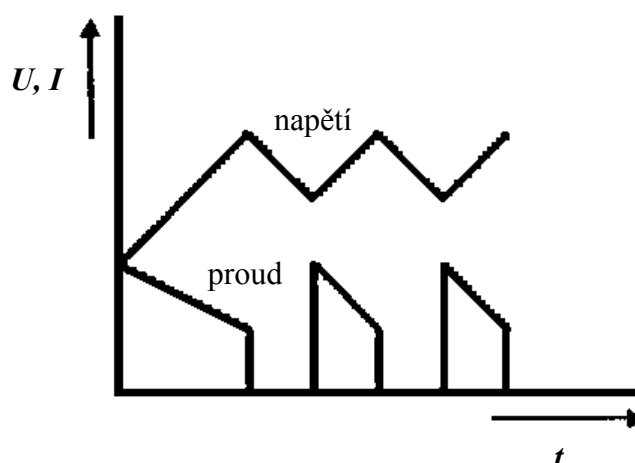
Obr. 2.4: Nabíjecí průběh při nabíjení charakteristikou W.

Kombinací charakteristik I , U , IU a W může vzniknout nespočet dalších charakteristik. Ty mohou zajišťovat vyšší účinnost a kratší dobu dobíjení. Realizace složitějších průběhů je v

moderních nabíječích řízená mikroprocesorem. Příkladem charakteristiky vyplývající z charakteristiky W je WAE.

Charakteristika WAE

Charakteristika je odvozená od charakteristiky W s tím rozdílem, že při dosažení plynovacího napětí dojde k odpojení baterie od nabíječe. Po následném poklesu napětí baterie na stanovenou mez dojde opět k připojení nabíječe a nabíjení pokračuje opět do dosažení plynovacího napětí. Protože je tak zamezeno plynování článků, je charakteristika WAE vhodná pro veškeré bezúdržbové akumulátory. [8]



Obr. 2.4: Nabíjecí průběh při nabíjení charakteristikou W.

2.2 Další způsoby nabíjení

2.2.2 Nabíjení obdélníkovými pulsy

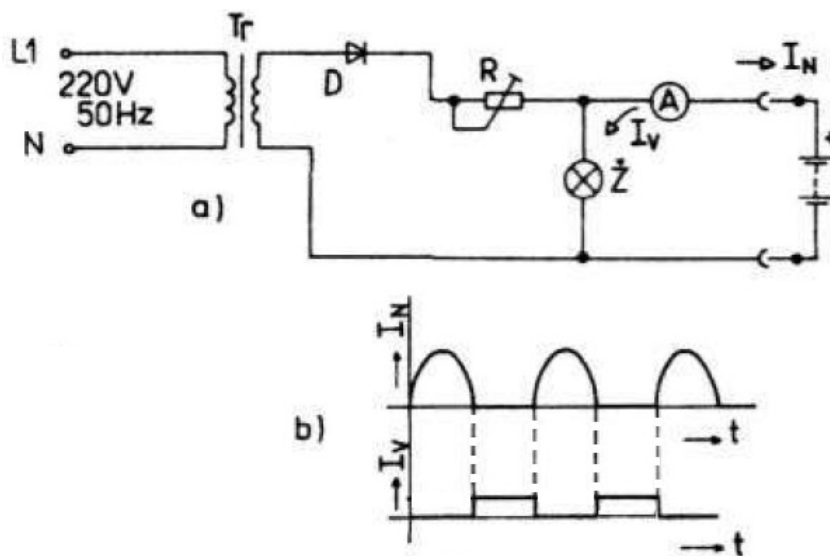
S nabíjením obdélníkovými proudovými pulzy se setkáváme většinou u komerčních nabíječů jednodušší konstrukce, kde je střední hodnota nabíjecího proudu řízená elektronickou regulací šířky pulzu. [18]

V roce 1994 byl proveden výzkum [19], jehož výsledky ukázaly, že vhodně zvoleným obdélníkovým průběhem lze snížit dobu nabíjení oloveného akumulátoru až desetkrát (z 10 na 1 hodinu) a prodloužit počet nabíjecích cyklů třikrát až čtyřikrát oproti běžnému stejnosměrnému nabíjení. Princip spočíval v nabíjení proudovými pulzy o vysoké amplitudě trvajících 200ms, mezi nimiž byla dostatečně dlouhá prodleva 600ms. Střední hodnota proudu se rovnala $1 \cdot C$ (A).

Při takto zvoleném průběhu nedocházelo k dramatickému nárůstu teploty ani přílišnému plynování elektrolytu, které by akumulátor zničilo. Zmíněný průběh by tedy našel uplatnění při konstrukci rychlonabíječů olověných akumulátorů. [19] [20]

2.2.3 Pulzní nabíjení s využitím vybíjecího pulsu opačné polarity

Myšlenka metody je založena na patentu Ernesta Beera (US patent 2752550). Tvar nabíjecího proudu spočívá v tom, že po nabíjecím pulzu následuje pulz opačné polarity. Vhodná střední hodnota záporného pulzu se udává $1/5$ až $1/10$ střední hodnoty pulzu nabíjecího. Záporný proudový pulz má mít depolarizační účinky a tak dochází k pozitivním změnám na povrchu elektrod. Zvyšuje se tak účinnost nabíjení. Příznivé působení nabíjení se záporným pulzem bylo pozorováno při nabíjení zasulfátovaných akumulátorů. Podařilo se tak částečně obnovit jejich ztracenou kapacitu. Nejjednodušší zapojení takového nabíječe lze provést paralelním připojením žárovky na výstup jednocestného usměrňovače (obr. 2.5). Jiného zapojení, s možností volby záporného pulzu, je využito v experimentální části. [1] [15]



Obr. 2.5: a) Schéma zapojení pulzního nabíječe se záporným pulzem. [15]
b) Průběh nabíjecího a vybíjecího pulzu.

2.2.4 Desulfatace

Sulfataci lze běžným nabíjením odstranit velmi obtížně. Proto se používá speciálních způsobů nabíjení podporující rozklad krystalků síranu olovnatého. Desulfatace má smysl pouze u akumulátorů bez poškozených desek elektrod. [8]

Vyrovňovací nabíjení

Uplatňuje se, když potřebujeme vyrovnat míru nabití všech článků nebo odstranit mírnou sulfataci elektrod. Nabíjení probíhá stálým proudem malé hodnoty až do doby, kdy se hustota elektrolytu a napětí všech článků již nezvyšují. Při tomto nabíjení tak dochází k záměrnému přebíjení. Vyrovnávacího nabíjení lze použít jen u údržbových akumulátorů s kapalným elektrolytem. [8]

Desulfatace nabíjením se zředěným elektrolytem

Provádí se zředěním nebo nahrazením elektrolytu destilovanou vodou, ve které se hrubozrnný síran olovnatý snadněji rozpouští. Nabíjení pak probíhá malým proudem o velikosti $0,01 \cdot C$ (A) nebo menším. Rozpouštění síranu zapříčiňuje růst hustoty elektrolytu, který je dobré v průběhu procesu měnit za destilovanou vodu. Když při pravidelných kontrolách hustoty elektrolytu neregistrujeme změnu, nabíjení ukončíme a destilovanou vodu nahradíme roztokem kyseliny sírové o předepsané koncentraci. Akumulátor je tak připraven k opětovnému provozu. [2] [8]

Desulfatace pulzním proudem

Pulzní proud o frekvenci v řádech kHz má pozitivní vliv na rozpouštění krystalků $PbSO_4$. Využívá se zařízení zvaných desulfátory. Připojují se paralelně mezi svorky baterie, jež je zároveň připojená k udržovacímu napětí mezi 13,3 až 13,8V. Desulfátor z baterie nejprve odebere proudový pulz velké amplitudy a poté ho opět do akumulátoru vrátí. Vybíjecí pulz je oproti nabíjecímu přibližně desetkrát kratší. Cyklus probíhá s frekvencí několika kHz. Často používané kmitočty jsou 1 a 6 kHz. Desulfatace těmito zařízeními trvá až desítky dnů. [13] [21] [22]

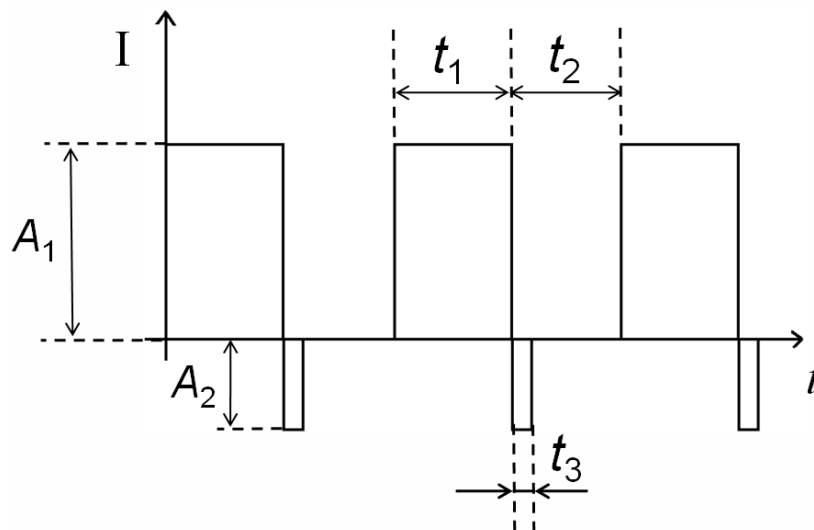
3. Experimentální část

Zde se zkoumá vliv různých nabíjecích průběhů na využitelnou kapacitu akumulátorové baterie. Jedná se o bezúdržbovou 12V baterii typu AGM o jmenovité kapacitě 4,5Ah. Na základě způsobu nabíjení, doporučeného vedoucím práce, bylo třeba nejprve navrhnout nabíjecí obvod daných parametrů. Pak se mohlo přejít k samotnému měření.

3.1 Návrh nabíjecího obvodu.

3.1.1 Požadovaný nabíjecí průběh

Jde o pulzní průběh s využitím vybíjecího pulsu opačné polarity. Podmínkou bylo možnost měnit parametry A_1 , A_2 , t_1 , t_2 , t_3 (viz obr. 3.1). Doby t_1 a t_2 měly mít možnost měnit v rozsahu jednotek až stovek ms. Parametr t_3 od stovek μ s do desítek ms.



Obr. 3.1: Požadovaný nabíjecí průběh.

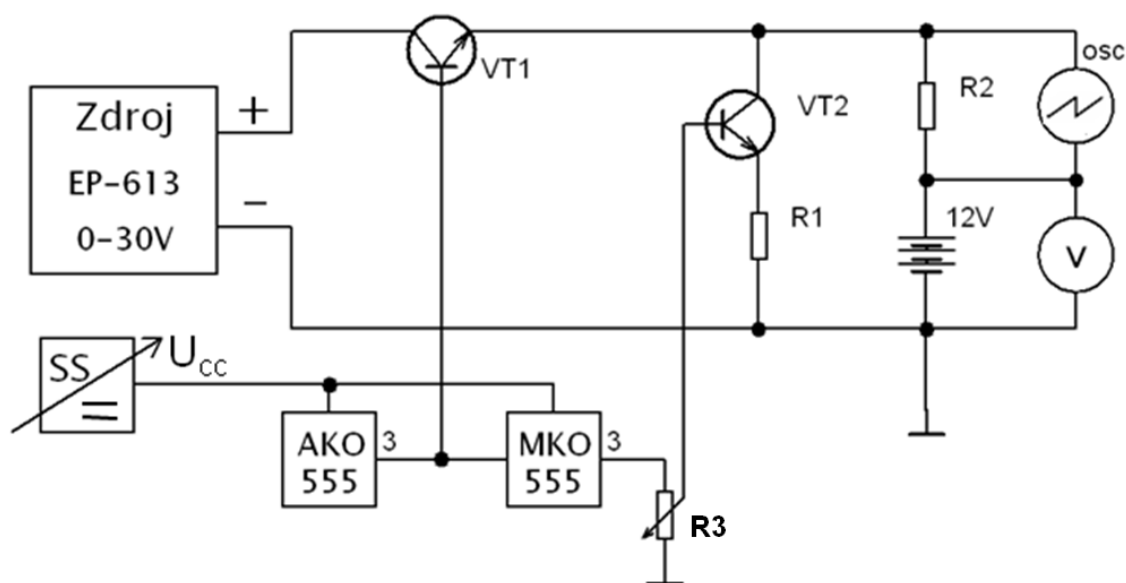
3.1.2 Realizace nabíjecího obvodu

Výkonová část

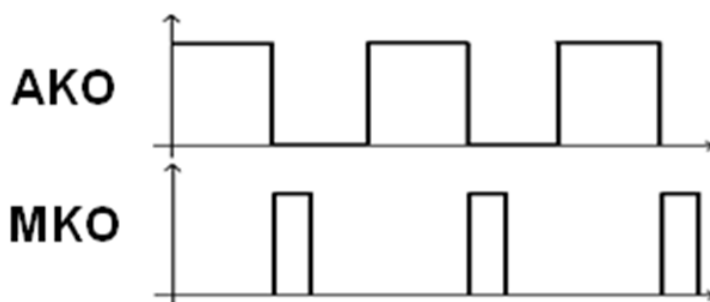
Ve výkonové části se využilo, jako spínacích prvků, tranzistorů, které umožnily průchod proudových pulzů o amplitudě až několika ampér. Hlavním zdrojem elektrické energie pro nabíjení byl regulovatelný laboratorní zdroj napětí s možností nastavení omezení proudu. To určovalo velikost amplitudy A_1 (obr. 3.1.).

Řídící část

K řízení spínání výkonových tranzistorů se využilo zapojení astabilního a monostabilního klopného obvodu (AKO a MKO) sestavených za pomoci obvodů NE555. Průběh AKO řídí spínání tranzistoru VT1. Tranzistor VT2 je řízen výstupem z MKO, který generuje pulz tehdy, když je na výstupu AKO (resp. na vstupu MKO) nulová hodnota. Před vstup MKO tak bylo nutno připojit RC člen určující minimální možnou délku vybíjecího pulzu. Kompletní schéma zapojení nabíjecího obvodu se nachází v příloze č. 1.



Obr. 3.2: Principiální schéma zapojení nabíjecího obvodu.



Obr. 3.3: Průběh řídicích pulzů na výstupech AKO a MKO.

Možnost doladění napájecího napětí obvodů NE555 na dostatečnou mez zajistila spolehlivé otevírání tranzistorů v celém průběhu nabíjení. Amplituda vybíjecího pulzu byla závislá na míře otevření VT2. K této regulaci posloužil trimr R3 zapojený na výstupu MKO. Druhou možností úpravy amplitudy vybíjecího proudu byla změna odporu R1. K přesnému nastavení tvaru nabíjecího proudu byl využit osciloskop zobrazující aktuální průběh.

3.2 Nabíjení a měření využitelné kapacity.

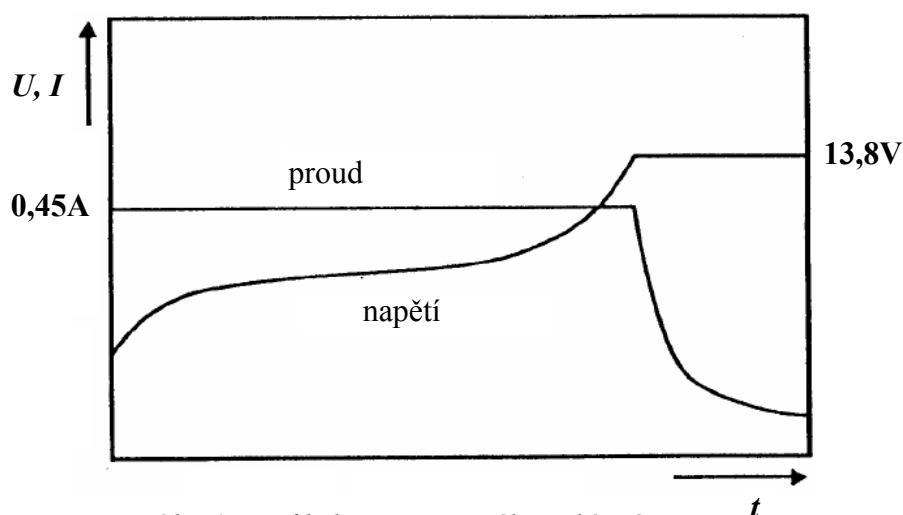
Při nabíjení bylo třeba vycházet s teoretických předpokladů pro AGM akumulátory. Napětí zdroje, dodávající energii do akumulátoru, bylo nastaveno tak, aby za žádných okolností nemohlo dojít k nadměrnému plynování elektrolytu. Nabíjení bylo přerušeno vždy, když baterie vykazovala znaky nabití. Tzn., že při konečném napětí 13,8V (u pulzního nabíjení tato hodnota mírně kolísala) byl akumulátor k nabíječi připojen tak dlouho, dokud se nabíjecí proud neustálil na velmi malé hodnotě.

3.2.1 Metody nabíjení.

Bylo třeba porovnat vliv nabíjecího proudu na využitelnou kapacitu pro různé nabíjecí charakteristiky. Základem byly tři různé průběhy. Stejnosměrné nabíjení, pulzní a pulzní se záporným pulzem.

Stejnosměrné nabíjení

Nabíjení probíhalo stejnosměrným proudem o hodnotě desetiny jmenovité kapacity akumulátoru, neboli $0,1 \cdot C$ (A). Po dosažení napětí 13,8V byl akumulátor připojen k nabíječi až do ustálení proudu na hodnotě přibližně 10mA.



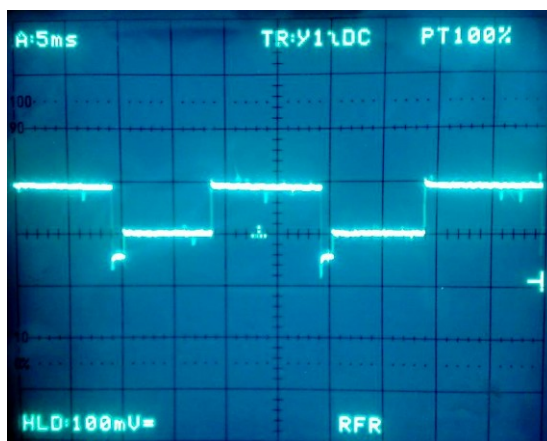
Obr. 3.4: Průběh stejnosměrného nabíjení.

Pulzní nabíjení bez záporného pulzu

Kmitočty pulzního nabíjení bez záporného pulzu (ZP) byly zvoleny dva. 50 a 20Hz. Pro jednotlivé cykly se měnila střída pulzního proudu. Střední hodnota nabíjecího proudu při pulzním nabíjení byla 0,4 až 0,45A. Podrobnosti o střídě jednotlivých nabíjecích cyklů jsou vypsány v příloze č. 3. Ke konci nabíjení se amplituda nabíjecího proudu zmenšovala téměř k nulové hodnotě, zatímco napětí nepřekročilo zmíněných 13,8V. To platí i pro průběh se záporným pulzem.

Pulzní nabíjení se záporným pulzem

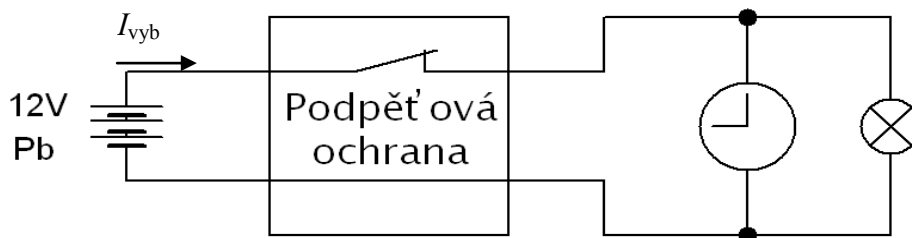
Použité frekvence při pulzním nabíjení se ZP byly 50 a 100 Hz. Střída nabíjecího a tvar záporného pulzu byly různě měněny. Podrobný popis průběhů je v tabulce v příloze č. 3.



Obr. 3.5: Ukázka průběhu nabíjecího proudu se záporným pulzem (8. nabíjecí cyklus).

3.2.2 Způsob měření kapacity.

Základem vybíjecího obvodu byla podpět'ová ochrana, která rozpojila obvod při napětí $11,45V \pm 0,05V$. Mírné odchylky nastaly z důvodu konstrukčního provedení podpět'ové ochrany (viz příloha č. 2). Na zkeslení výsledné kapacity to však mělo minimální vliv.



Obr. 3.6: Principiální schéma zapojení vybíjecího obvodu.

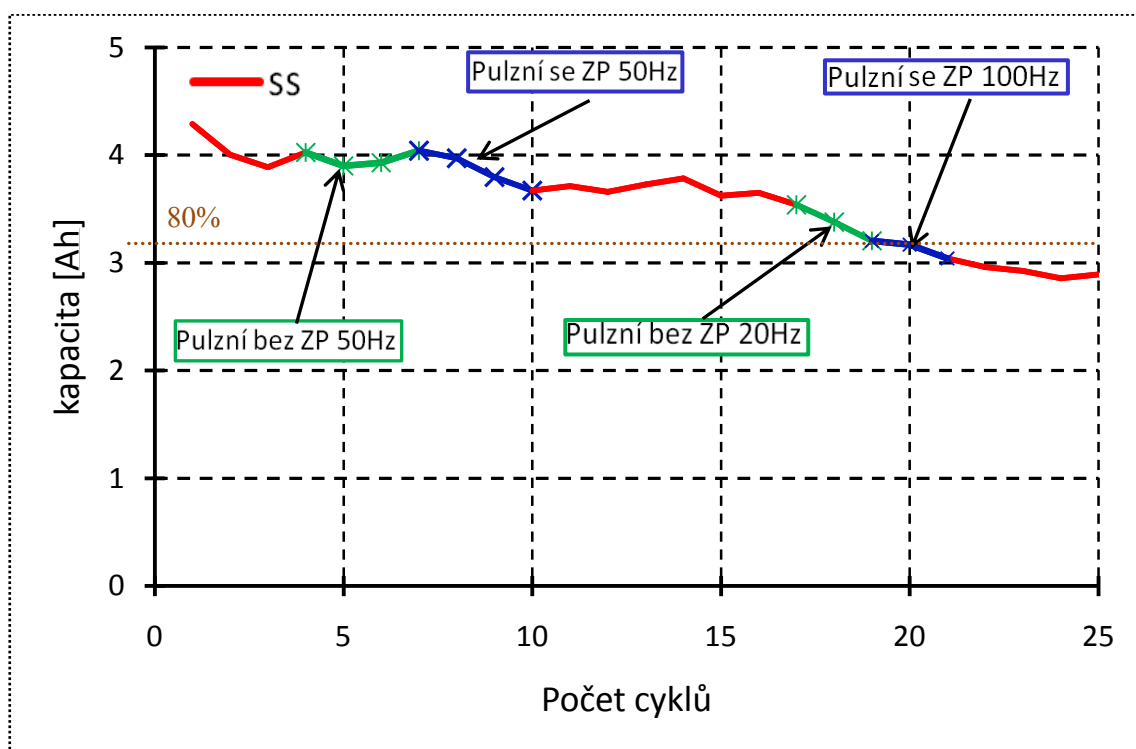
Zátěží byla žárovka o hodnotě 6W. Aby bylo možno vypočíst využitelnou kapacitu, bylo třeba znát čas vybití a průměrný vybíjecí proud. Střední vybíjecí proud byl určen na základě měření proudu v určitých intervalech při vybíjení. Střední hodnota vybíjecího proudu byla $I_{vyb(AV)} = 418\text{mA}$. Jelikož desetihodinová kapacita baterie je podle katalogového listu 4,19Ah při vybití na 10,8V, můžeme říci, že jsme vybíjeli desetihodinovým vybíjecím proudem.

Měření času se vyřešilo připojením analogových hodin k zátěži. Po vypnutí podpěťové ochrany se rozpojilo také napájení hodin a ty se zastavily. Kompletní schéma zapojení vybíjecího obvodu se nachází v příloze č. 2.

Výsledná využitelná kapacita byla vypočtena podle vzorce $C = I_{vyb(AV)} * t$ [Ah, A, h]

3.2.3 Výsledky

Vybíjení bylo vždy ukončeno při zmíněných 11,45V. Velikost využitelné kapacity se zpočátku, v prvních pár cyklech, pohybovala okolo 4Ah, což bereme jako výchozí využitelná kapacita. Po dvaceti cyklech kapacita poklesla na 80% (3,2Ah) výchozí kapacity, a tak můžeme říci, že životnost baterie tímto skončila. V dalších cyklech kapacita stále klesala.



Obr. 3.7: Graf využitelné kapacity v závislosti na nabíjecích cyklech různých průběhů.

Červená část křivky značí využitelnou kapacitu po nabíjení stejnosměrným proudem, zelená pro pulzní průběh a modrá pro pulzní průběh se záporným pulzem. Z naměřených hodnot lze říci, že nebyl zjištěn pozitivní vliv pulzního nabíjení oproti stejnosměrnému. Naopak u pulzního nabíjení povětšinou docházelo ke strmějšímu poklesu kapacity, než při nabíjení proudem stejnosměrným. Konkrétní informace o tvaru průběhů pro jednotlivé cykly se nachází v tabulce v příloze č. 3.

4. Závěr

Cílem bylo zpracovat rešerši na téma nabíjení olověných akumulátorů a v další, experimentální, části prozkoumat vliv různých nabíjecích průběhů na využitelnou kapacitu předloženého akumulátoru. Než jsem se zaměřil na samotné způsoby nabíjení, bylo nutno objasnit chemické a elektrické pochody probíhající při provozu olověných článků a také zmínit technologické odlišnosti jednotlivých typů akumulátorů. To řeší první část práce.

Pokračováním je souhrn informací z různých zdrojů, týkajících se samotných možností nabíjení, jejich výhody a nevýhody pro jednotlivé typy olověných akumulátorů.

Závěrečná, experimentální, část je věnována nabíjení a následnému měření využitelné kapacity pro různé nabíjecí průběhy. K nabíjení pulzním průběhem bylo třeba nejprve navrhnout a sestavit nabíjecí obvod umožňující snadnou regulaci požadovaných parametrů nabíjecího proudu.

Při následném měření kapacity olověné akumulátorové baterie typu AGM o jmenovitém napětí 12V nebyly zjištěny markantní rozdíly, co se týče využitelnosti kapacity, mezi různými způsoby nabíjení. Jak vidíme v grafu (obr. 3.7), kapacita v průběhu experimentu poměrně rychle klesala a po dvaceti cyklech klesla na 80% původní kapacity, a to značí konec životnosti baterie. První významnější pokles kapacity nastal v 8. až 10. cyklu, kde bylo využito pulzního nabíjení se záporným pulzem o frekvenci 50Hz. Určitý pokles kapacity se ale projevil při všech způsobech nabíjení, proto nelze z uvedeného měření jednoznačně říct, co konkrétně za pokles kapacity mohlo. Faktem zůstává, že pulzní průběh, ať už se záporným pulzem nebo bez něj, o kmitočtech 20, 50 a 100Hz neměl pozitivní vliv na využitelnou kapacitu akumulátoru.

Přínosem práce je souhrn informací o olověných akumulátorech, oživení tématu nabíjení a experiment ukazující vliv tvaru nabíjecího proudu na využitelnou kapacitu.

Dalším vývojem projektu by mohl být návrh sofistikovanějšího nabíjecího systému řízeným PC, který by zautomatizoval nabíjecí a vybíjecí cykly. Umožnilo by to dokonalejší zkoumání vlivů jednotlivých způsobů nabíjení na olověný akumulátor.

Seznam použité literatury

- [1] *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení* [online]. Marconi, 2008 [cit. 05 Led 2009]. Dostupné z WWW: <http://www.cezeta487.ic.cz/Documents/akumulatory.pdf>.
- [2] *Olověné akumulátory* [online]. Hammerbauer Jiří, 2008 [cit. 12 Bře 2005]. Dostupné z WWW: <http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/elektro/clanky2/olov.pdf>.
- [3] Nabíječe a nabíjení. [Online] 2010. [27 Říj 2010]. Dostupné z WWW: <http://www.eprona.cz/cz/clanky.html>
- [4] VLASÁK, Z. *OLOVĚNÉ AUTOMOBILOVÉ AKUMULÁTORY - konstrukce* [online]. [cit. 29 Sept 2002]. Dostupné z WWW: http://www.zvlasak.net/baterie_s.pdf.
- [5] HAMMER Trakční a staniční olověné akumulátory. [online]. 2007 [cit. 2007-03-03]. Dostupné z WWW: <http://web.fel.zcu.cz/fel/kae/NSA/Texty/Trak%E8n%ED%20baterie.pdf>.
- [6] Autobaterie 12V 125Ah HD *topbaterie.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z WWW: <http://topbaterie.cz/sznjader-nakladni-vozy/autobaterie-12v-125ah-hd-sznajder-silver-startovaci-proud-690a>.
- [7] XT Battery - Classic a PREMIUM - akumulátory. [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z WWW: http://www.elit.cz/cz/sortiment-a-sluzby/nahradni-dily-pro-osobni-a-uzitkove-vozy/elektro/autobaterie/art_31/xt-battery-classic-a-premium-akumulatory.aspx.
- [8] VLASÁK, Z. *OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY - ošetřování, opravy* [online]. 2002 [cit. 15 Pro 2002]. Dostupné z WWW: http://www.zvlasak.net/bat_opr_s.pdf.
- [9] *Autobaterie - bezúdržbová AGM VRLA - návod k použití* [online]. Battery Expert, [cit. 01 Říj 2010]. Dostupné z WWW: <http://www.battery.cz/upload/autobaterie---bezudrzbova-agm-vrla.pdf>.
- [10] MAŇAS, O. Study of behaviour VRLA Lead-Acid Accumulator. [online]. 2006 [cit. 2006-04-28]. Dostupné z WWW: http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2006/sbornik/02-Magisterske_projekty/06-Mikroelektronika_a_technologie/12-xmanas00.pdf.
- [11] Industrial Lead Acid Batteries - Types and their selection. [online]. 2009 [cit. 2009-09-10]. Dostupné z WWW: <http://www.battery.co.za/download/dl/IndustrialBatteriesTypes&Selection.pdf>.

- [12] *DATASHEET Alarmguard CJ12-4,5(12V4,5Ah)* [online]. Dostupné z WWW: <http://eshop.micronix.cz/data/cz/att/002/1882-1462.pdf>.
- [13] MATEJ. Desulfatace – obnova kapacity Pb aku aneb Nehaž olovo do žita !. [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z WWW: <http://wiki.mypower.cz/desulfatace>.
- [14] *Akumulátory pbq* [online]. pbq Batteries, 2006
Dostupné z WWW: http://www.lites.cz/tp/navod_pbq.pdf.
- [15] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. *Nabíječky a nabíjení*. 2nd ed. Praha: INGARA, 1997. ISBN 80-86056-29-5.
- [16] *Plynotěsné olověné akumulátory - Technická příručka* [online]. FILGUR BATTMAN s.r.o., 2007 Dostupné z WWW: <http://www.fulgurbattman.cz/data/podpora/panasonic-vrla-technicky-popis.pdf>.
- [17] 50Hz nabíjecí technologie. [online]. [cit. 2012-04-20].
Dostupné z WWW: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7B6A0C9F-BE14E2D7/fronius_ceska_republika/hs.xsl/28_8202.htm.
- [18] Pulzní nabíjení. BATTEX. [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z WWW: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/povery-a-myty-o-hermeticky-akumulatorech/pulzni-nabijeni>
- [19] HAMILTON, L., et al. Pulsed-current charging of lead/acid batteries - a possible means for overcoming premature capacity loss?. *J. Power Sources* [online]. 1994, no. 53 [cit. 1994-08-22], p. 215–228. Dostupné z WWW: <http://vershv.narod.ru/sdarticle.pdf>
- [20] Jak nabíjet Pb akumulátory. *Techsajt.cz* [online]. [cit. 2012-04-20].
Dostupné z WWW: http://www.techsajt.cz/web/index.php?strana=jak_nabijet_PB
- [21] Desulfátor aneb zařízení pro obnovení kapacity olověných baterií. MATEJ. *Mypower.cz* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z WWW: <http://wiki.mypower.cz/desulfator>
- [22] The Low Power Desulfator: Help and information for builders. *Home.comcast.net* [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z WWW: <http://home.comcast.net/~ddenhardt201263/desulfator/lowpower.htm>

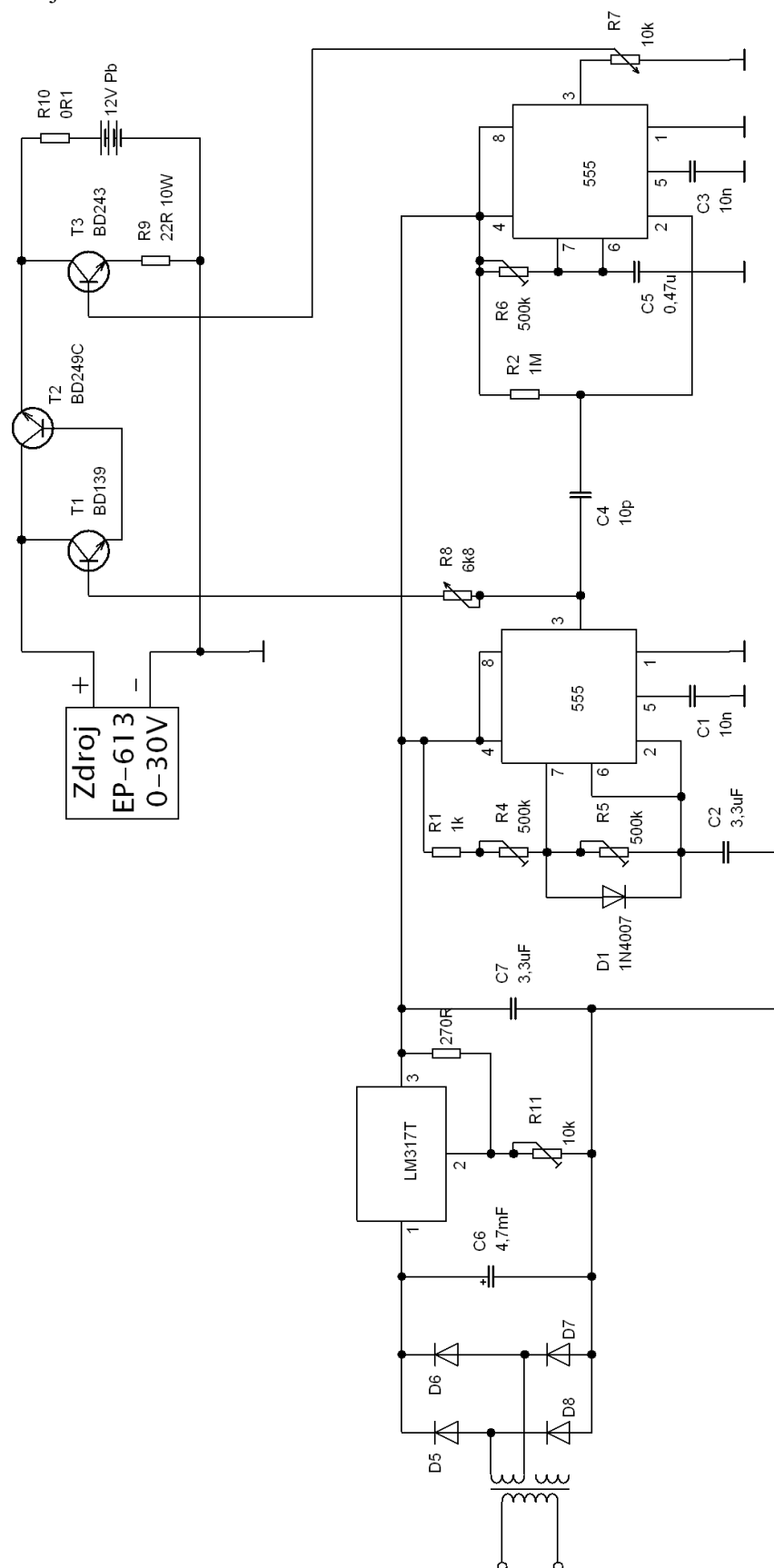
Seznam příloh

Příloha č. I: Nabíjecí obvod

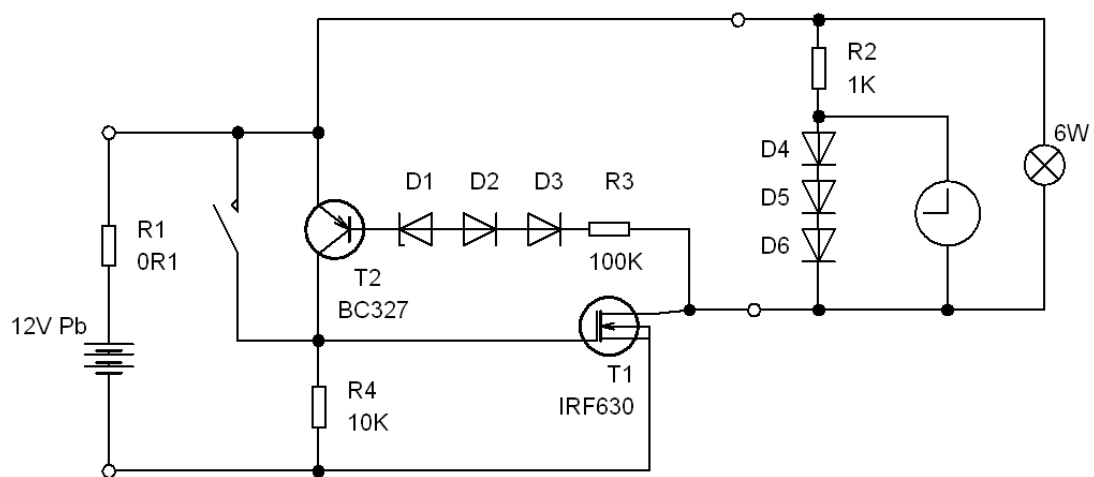
Příloha č. II: Vybíjecí obvod

Příloha č. III: Tabulka vybíjení

Příloha č. I: Nabíjecí obvod:



Příloha č. II: Vybíjecí obvod:



Příloha č. III: Tabulka vybíjení

Cyklus	<u>Způsob nabití:</u>	<u>Střední hodnota nabíjecího proudu [A]</u>	<u>vybíjecí doba [h]</u>	<u>Kapacita: [Ah]</u>
1.	ss dobití -nový aku.	0,45	10:16	4,289
2.	ss	0,45	9:35	4,005
3.	ss	0,45	9:18	3,887
4.	ss	0,45	9:38	4,025
5.	50Hz 25%-nab, 75%-0	0,45	9:20	3,901
6.	50Hz 50%-nab, 50%-0	0,45	9:24	3,929
7.	50Hz 75%-nab, 25%-0	0,45	9:40	4,041
8.	50Hz (50:50) 10ms: 0,9A, záp puls: A= 0,45A t=1ms	0,45	9:30	3,971
9.	50Hz (50:50) 10ms: 0,8A, záp puls: A= 0,3A t=2ms	0,4	9:05	3,797
10.	50Hz (30:70) 6ms: 1,5A, záp. puls: A= 0,1A t=12ms	0,45	8:47	3,671
11.	ss	0,4	8:53	3,713
12.	ss	0,4	8:45	3,658
13.	ss	0,4	8:55	3,727
14.	ss	0,4	9:03	3,783
15.	ss	0,4	8:40	3,623
16.	ss	0,4	8:44	3,651
17.	ss	0,4	8:28	3,539
18.	20Hz 25%-nab, 75%-0	0,45	8:05	3,379
19.	20Hz 50%-nab, 50%-0	0,45	7:40	3,205
20.	100Hz (25:75) 2,5ms: 2,3A, záp. puls: A= 0,4A t=1ms	0,45	7:35	3,169
21.	100Hz (50:50) 5ms: 0,9A, záp. puls: A= 0,2A t=4ms	0,45	7:17	3,04
22.	ss	0,45	7:05	2,96
23.	ss	0,45	7:00	2,926
24.	ss	0,45	6:50	2,856
25.	ss	0,45	6:55	2,891